



Identifikasi Kapasitas Tampang Minimum dan Stabilitas Mulut Muara Sungai Siak Propinsi Riau

^{1,*}Bambang Sujatmoko, ²Rizki Pratama, ³Andy Hendri, ⁴Rinaldi

^{1, 2, 3, 4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, Indonesia

*Corresponding author: b.sujatmoko@eng.unri.ac.id

Abstract

Changes in river mouth section capacity caused by instability of river mouth stability would influence flow conditions in upstream estuaries, as impacted by unsmooth drainage of river flow. Section river capacity and mouth river stability of Siak River would be evaluated by the output of tidal prism at the estuary. The tidal prism was predicted by Hecras software. Input data for hydrodynamic simulation consisted of river geometric data, river bed condition, and boundary condition (discharge and water level). The maximum daily rainfall data and Siak's catchment parameter could predict flood discharge. Longshore sediment transport netto data could be calculated using wave depth data, wave velocity data and direction of wave around the mouth river. The results of the tidal prism calculation show that the existing cross-sectional area of the mouth of the Siak River estuary can only drain the volume of water due to discharge and tides in the 2-year return period ($A_{min} = 3,115 \text{ m}^2 < A_{ada} = 3,225 \text{ m}^2$), while for discharge with other return periods, the capacity of the cross-section river is not sufficient. The excess discharge will flow upstream as a backwater. Siak River mouth stability is still relatively good and stable, with a stability number (S) of more than 388,0 (requirement: $S > 150$). The start of the backwater effect at KM+220 (60 km from the mouth of the river) caused a significant change in water level (0.94 m) due to the damming of the flow caused by the influence of tides and the bifurcation node of the river (delta).

Keywords: flood, section river capacity, river mouth stability, tidal prism

Abstrak

Perubahan kapasitas tampang muara sungai akibat terganggunya kestabilan mulut muara akan mempengaruhi kondisi aliran di bagian hulu muara, sebagai dampak dari tidak lancarnya pembuangan debit sungai. Kapasitas tampang dan kestabilan muara sungai Siak akan dievaluasi menggunakan keluaran prisma pasang surut di muara. Prisma pasang surut ini diprediksi dengan bantuan software Hecras. Input data untuk simulasi berupa data geometrik sungai, kondisi dasar sungai, data debit banjir dan data pasang surut. Data debit banjir diprediksi dengan data hujan harian maksimum dan parameter DPS Siak. Data angkutan sedimen netto sepanjang pantai diprediksi dengan menggunakan data tinggi gelombang, cepat rambat gelombang, arah gelombang datang di sekitar muara Siak. Hasil hitungan prisma pasang surut menunjukkan bahwa luas tampang mulut muara sungai Siak yang ada saat ini hanya dapat mengalirkan volume air akibat debit dan pasang surut pada periode ulang 2 tahunan ($A_{min} = 3.115 \text{ m}^2 < A_{ada} = 3.225 \text{ m}^2$), sedang untuk debit dengan kala ulang yang lain, kapasitas tampangnya tidak cukup dan kelebihan debit akan dialirkan ke hulu sungai sebagai *back water*. Stabilitas mulut/muara sungai Siak masih relatif baik dan stabil dengan angka kestabilan lebih dari 388,0 (syarat : $S > 150$). Mulai terjadinya back water effect di KM+220 (60 km dari muara sungai) menyebabkan perubahan elevasi muka air yang cukup signifikan (0,94 m) akibat adanya pembendungan aliran yang disebabkan adanya pengaruh air pasang dan simpul percabangan sungai (delta).

Kata kunci: banjir, kapasitas tampang, stabilitas mulut sungai, prisma pasang surut

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 26-02-2024 | Selesai Revisi : 25-03-2024 | Diterbitkan Online : 04-04-2024

1. Pendahuluan

Muara sungai Siak berfungsi selain sebagai sarana transportasi, yang utama adalah sebagai pengeluaran atau pembuangan debit sungai terutama pada waktu banjir, ke laut. Karena letaknya yang berada di ujung paling hilir, maka debit aliran di muara sungai adalah lebih besar dibanding tampang sungai di sebelah hulu muara. Selain itu, muara sungai juga melewati debit yang dialirkan oleh pasang surut air laut yang lebih besar daripada debit sungai. Sesuai dengan fungsinya, muara sungai harus cukup lebar dan dalam (kapasitas tampang harus besar).

Penutupan dan pendangkalan di muara sungai Siak menyebabkan perubahan kapasitas tampang muara sungai yang berakibat timbulnya luapan air (banjir) di bagian hulu muara sungai. Kapasitas tampang di muara sungai Siak saat ini perlu dievaluasi besarnya apakah sudah memenuhi kriteria Kapasitas Tampang minimum atau tidak, mengingat kejadian banjir yang terjadi di bagian hulu muara pada debit-debit dengan kala ulang dan tinggi pasang surut tertentu. Bila kondisi tampang yang ada sekarang tidak memenuhi kriteria tampang minimum, maka tampang yang ada harus diperbesar agar luapan air di hulu muara dapat diminimalisir dan pada kondisi ini dapat pula ditentukan Stabilitas Mulut Sungai untuk mengetahui kondisi mulut sungai apakah relatif baik [1].

Kondisi muara sungai sangat ditentukan oleh beberapa parameter pembentuk muara sungai, yaitu debit aliran sungai, sedimen sungai, pasang surut, gelombang, angkutan sedimen

pantai [2]. Pengaruh kelima parameter tersebut terhadap pembentukan muara berubah terhadap waktu. Pada musim kemarau pengaruh sungai dan sedimen yang terangkut terhadap pembentukan muara kecil, sedang pada musim penghujan pengaruhnya terhadap pembentukan muara lebih dominan [3]. Pengaruh gelombang dan angkutan sedimen pantai lebih dominan pada musim kemarau, karena pada saat tersebut debit sungai kecil.

Dalam kaitannya dengan permasalahan di muara sungai, ada satu parameter penting yang perlu dianalisis yaitu prisma pasang surut (*tidal prism*). Prisma pasang surut dari suatu muara sungai didefinisikan sebagai volume air dari laut yang masuk ke atau keluar dari sungai melalui mulut sungai antara titik balik air surut (*low water slack*) dan titik balik air pasang (*high water slack*) berikutnya atau sebaliknya. Apabila tidak ada debit dari hulu sungai, maka volume air yang masuk ke sungai pada saat air pasang dan yang keluar pada saat air surut adalah sama [4]. Prisma pasang surut dihitung dengan persamaan berikut [2] :

$$P = \int_0^{T_p \text{ atau } T_s} Q(t) dt \quad (1)$$

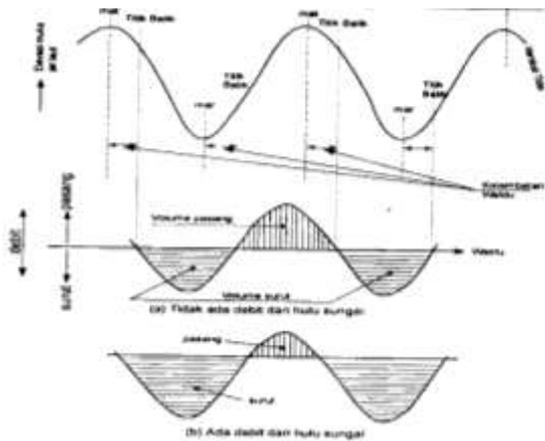
dengan P adalah prisma pasang surut, T_p adalah periode air pasang, T_s adalah periode air surut, $Q(t)$ adalah debit yang lewat mulut sungai, dan T adalah periode pasang surut = $T_p + T_s$.

Penjelasan perhitungan tentang prisma pasang surut diberikan pada Gambar 1. Titik balik (*slack*) terlambat (bergeser) terhadap muka air tinggi dan rendah. Hal ini disebabkan karena adanya tumpukan air di sungai (pada bantaran

Informasi Artikel

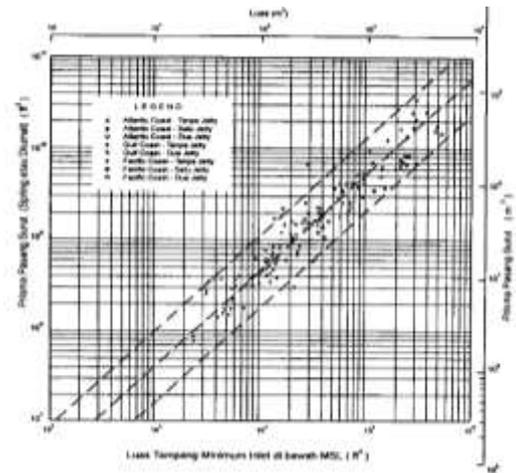
Diterima Redaksi : 26-02-2024 | Selesai Revisi : 25-03-2024 | Diterbitkan Online : 04-04-2024

atau daerah genangan) dan gesekan dengan dinding sungai. Pada saat titik balik tersebut kecepatan aliran adalah nol. Selama periode air pasang dan mulai dari titik balik air surut, kecepatan aliran meningkat dan air laut masuk ke sungai melalui mulut sungai. Setelah mencapai maksimum di sekitar tengah-tengah antara dua titik balik yang berurutan, kecepatan aliran berkurang sampai menjadi nol pada titik balik air pasang. Pada waktu air surut, air yang tertampung di sungai mengalir kembali ke laut. Dengan mengukur tampang lintang dan kecepatan aliran di mulut sungai dapat dihitung debit aliran. Gambar 1.a menunjukkan debit aliran melalui mulut sungai sebagai fungsi waktu. Prisma pasang surut dapat diketahui dengan menghitung luasan antara kurva debit air pasang atau air surut dan sumbu t. Apabila dari hulu sungai terdapat aliran, maka volume air surut lebih besar dari pada volume air pasang (Gambar 1.b).



Gambar 1. Prisma pasang surut (Sumber: [2])

dengan A adalah luas tampang pada muka air rerata untuk kondisi pasang purnama (m^2), P adalah prisma pasang surut (m^3)



Gambar 2. Hubungan Luas tampang A dan prisma pasut (Sumber : [2])

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara luas tampang aliran minimum di muara pada muka air rerata (A) dan prisma pasang surut berdasarkan data yang digunakan oleh Jarrett.

1.1. Angkutan sedimen sepanjang pantai

Perkiraan angkutan sedimen sepanjang pantai sulit dilakukan. Hal ini mengingat bahwa ketelitian rumus angkutan sedimen sepanjang pantai belum memadai, disamping sulitnya mengumpulkan data yang benar dalam jangka waktu lama (tinggi dan periode gelombang, arah gelombang dan distribusinya selama kurun waktu tertentu, minimum satu tahun). Untuk keperluan hitungan angkutan sedimen biasanya tinggi, periode dan arah gelombang serta distribusinya diprediksi dari data angin. Transpor sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris.

Ada beberapa rumus empiris yang diberikan oleh banyak ahli, di antaranya adalah yang diberikan oleh CERC [5],[2], yaitu

$$Q_s = 0,39 P_{lb} \quad (4)$$

$$P_{lb} = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (5)$$

Informasi Artikel

Dengan Q_s adalah transpor sedimen sepanjang pantai, P_{lb} adalah fluks energi gelombang pada saat pecah, H_b adalah tinggi gelombang pecah, C_b adalah cepat rambat gelombang pecah, α_b adalah sudut datang gelombang pecah.

1.2. Stabilitas Mulut Sungai

Faktor penting yang menentukan pembentukan mulut sungai adalah prisma pasang surut dan transpor sedimen sepanjang pantai total [6], [2], yang dinyatakan dalam bentuk P/M_{tot} . M_{tot} tersebut adalah jumlah transpor sedimen netto dari berbagai arah gelombang datang di pantai yang ditinjau ($m^3/tahun$). Tabel 1 memberikan kondisi stabilitas mulut sungai untuk berbagai interval nilai perbandingan P/M_{tot} .

Tabel 1. Stabilitas mulut sungai berdasar P/M_{tot}

$S = P/M_{tot}$	Stabilitas
$S > 150$	Kondisi relatif baik, bar kecil dan penggelontoran
$100 < S < 150$	Kondisi menjadi kurang baik, pembentukan offshore bar menjadi lebih berat
$50 < S < 100$	Bar dapat lebih besar, tetapi biasanya terdapat alur melalui bar.
$20 < S < 50$	Mulut sungai tertutup pada musim kemarau dan terbuka pada musim penghujan
$S < 20$	Mulut sungai tidak stabil dan sangat sering tertutup

(Sumber : [2])

1.3. Formulasi Matematis Sirkulasi Aliran di Muara Sungai

Dampak perubahan kapasitas muara sungai terhadap banjir di daerah hulu dapat diprediksi dengan menggunakan model aliran tak mantap (*unsteady flow*) [7]. Model matematik yang dipakai untuk studi penjalaran gelombang banjir dan pasang surut adalah paket program HECRAS. Program tersebut didasarkan pada persamaan kontinuitas dan momentum. Persamaan momentum digunakan pada situasi dimana profil permukaan air berubah secara

cepat, sehingga dilakukan perhitungan daerah pengaliran yang tercampur, perhitungan struktur hidraulik, dan mengevaluasi profil pada saluran yang berhubungan atau bercabang [8]. Profil permukaan air dihitung dari satu potongan melintang dengan pemecahan persamaan energi, dituliskan pada rumus (6) [8], [9]:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e \quad (6)$$

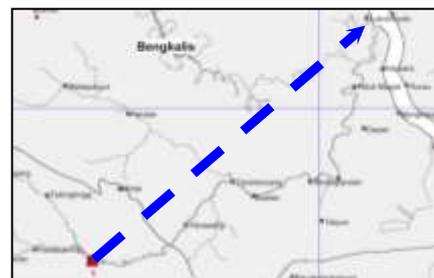
Kehilangan energi akibat gesekan dan perubahan tampang (ekspansi dan kontraksi). Persamaan kehilangan tinggi energi dapat dijabarkan rumus (7).

$$h_e = \left(L \times \bar{S}_r \right) + C \left| \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right| \quad (7)$$

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Daerah Pengaliran Sungai (DPS) Siak dan berada di Utara kota Pekanbaru. Sepanjang sungai Siak banyak terdapat pemukiman dan industri. Panjang sungai Siak diperkirakan 280 km dan luas daerah pengaliran lebih kurang 11.026 km² (Gambar 3). Karakteristik sungai Siak mempunyai bentuk tampang melintang mendekati bentuk V dan U dengan sedimentasi rendah. terdapat 4 buah stasiun pencatat curah hujan yaitu: Pekanbaru, Pertapahan Baru, Buatan dan Kandis. DPS Siak berbatasan langsung dengan DPS Rokan dan DPS Kampar.



Gambar 3. Peta Lokasi Sungai Siak

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 26-02-2024 | Selesai Revisi : 25-03-2024 | Diterbitkan Online : 04-04-2024

2.2. Bahan Penelitian

Data Tampang melintang sungai diperoleh dari pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari hasil studi: Pengembangan Basis Data Pencemaran Laut di Kabupaten Siak dan Bengkalis Tahun 2012 yang dilakukan oleh Pusat Kajian Pemanfaatan Sumber daya Laut Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau.

Aliran yang terjadi pada sungai Siak diperkirakan dengan software HECRAS. Untuk simulasi aliran diperlukan data input pada program yaitu data pasang surut dan data hidrograph debit sungai sebagai kondisi batas (*boundary condition*) [8].

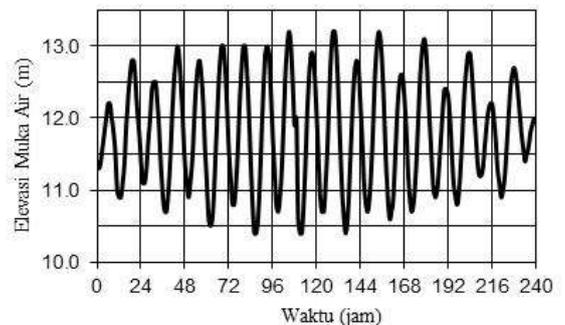
Debit banjir di sungai Siak diprediksi dengan menggunakan data curah hujan maksimum harian selama kurun waktu minimal 10 tahun. Perkiraan kala ulang banjir yang terjadi di sungai Siak diprediksi menggunakan Agihan Log Person Type III [10].

Pasang surut pada sungai Siak cenderung bersifat semi diurnal tide dimana dalam satu hari terjadi 2 (dua) kali siklus pasang surut atau dua kali pasang dan dua kali surut. Data pasang surut yang digunakan merupakan data pasang surut perkiraan pada bulan Oktober 2020 (Gambar 4), yang diperoleh dari buku "Pengukuran Pasang Surut Sungai Siak Tahun 2020" yang dikeluarkan oleh PLTU Tenayan Raya, Pekanbaru, 2020" [11]. Lokasi stasiun pengukuran perkiraan data pasang surut adalah 01,2° LS 102,2° BT (Dermaga PLTU Tenayan, Pekanbaru).

Untuk mendapatkan prisma pasang surut diperlukan data-data berupa : data tampang

mulut sungai, data kecepatan pada tampang dan hitungan debit melalui tampang tersebut.

Data pengukuran angkutan sedimen sepanjang pantai di sekitar muara Sungai Siak tidak tersedia. Untuk itu, angkutan sedimen yang terjadi diperkirakan dengan rumus dan formula yang ada. Data-data pengukuran yang diperlukan berupa data gelombang (tinggi, arah, dan cepat rambat gelombang), data kecepatan arus di pantai, kecepatan dan arah angin dan peta bathimetri pantai. Data-data yang ada merupakan data hasil pengukuran secara umum yang diberlakukan untuk Pelabuhan Sungai Duku, Pekanbaru (Tabel 2). Data-data tersebut diperoleh dari referensi "Informasi Pelabuhan Indonesia Tahun 2021" yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oceanografi TNI-AL, 2021, Jakarta [12].



Gambar 4. Pasang Surut di Muara Sungai Siak di bulan Oktober (Sumber : [11])

2.3. Langkah / Tahapan Penelitian

Data yang diperlukan dalam studi ini adalah data pasang surut, debit sungai, tampang lintang muara dan sungai, gelombang dan pet bathimetri. Data tersebut berupa data sekunder yang diperoleh dari beberapa studi yang pernah dilakukan.

Informasi Artikel

Tabel 2. Data Gelombang, Angin dan Iklim di Pelabuhan Sungai Duku, Pekanbaru

Parameter	Periode			
	Des-Jan-Feb	Mar-Apr-Mei	Jun-Jul-Agt	Sep-Okt-Nop
Angin	Arah : TL/T/S/BL Kec : 5-10 knot Domi nan : TL, 11-21 knot	Arah : TG/S/BD /BL Kec : 0,5-10 knt Domi nan : TG/S, 11-21 knot	Arah : T/TG/B D/B Kec : 9-15 knot Domi nan : S/BD, 29 knot	Arah : TG/BD/B /BL Kec : 0,5-10 knot Domi nan : TG, 11-21 knot
Gelombang	H : 0,5-1,0 m	H : 0,3-0,75 m	H : 0,5-1,5 m	H : 0,3-1,0 m
Suhu	T : 28,3-30° C	T : 28,3-32° C	T : 28-32° C	T : 28-30,2° C
Kelembaban	RH: 65-90%	RH: 65-80%	RH: 70-80%	RH: 80-85%
Arus	Utara max, V=2,5 knot ; Selatan max, V=2,0 knot			

Sumber : [12]

2.4. Langkah / Tahapan Penelitian

Data yang diperlukan dalam studi ini adalah data pasang surut, debit sungai, tampang lintang muara dan sungai, gelombang dan peta bathimetri. Data tersebut berupa data sekunder yang diperoleh dari beberapa studi yang pernah dilakukan.

Prisma pasang surut dihitung dengan melakukan pengukuran elevasi muka air dan kecepatan aliran di muara sungai. Pengukuran tersebut dilakukan secara kontinyu, atau paling tidak tiap satu jam atau 24 jam, yaitu pada saat pasang purnama dan pasang perbani.

Mengingat pengukuran tersebut membutuhkan waktu dan biaya besar, karena harus dilakukan secara kontinyu dan beberapa kondisi (pasang purnama, perbani, debit kecil, dan banjir), maka dalam studi ini hitungan prisma pasang surut dilakukan dengan menggunakan model matematik.

Model matematik aliran di muara sungai didasarkan pada aliran tak mantap (*unsteady flow*). Untuk pembuatan model tersebut dibutuhkan data tampang muara dan sungai, data pasang surut sebagai kondisi batas hilir, dan data hidrograf debit untuk kondisi batas hulu. Dalam model hidrolika ini digunakan paket program HECRAS untuk menghitung debit aliran di mulut sungai sebagai fungsi waktu. Aliran tersebut menuju ke sungai pada waktu pasang dan ke laut pada waktu surut.

Prisma pasang surut dihitung dengan mengintegrasikan debit aliran terhadap waktu pada waktu air pasang dan surut. Prisma pasang surut yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung luas tampang aliran minimum di mulut sungai (dengan bantuan Gambar 2). Selain untuk menghitung luas tampang minimum mulut sungai, prisma pasang surut bersama-sama dengan angkutan sedimen sepanjang pantai digunakan untuk menentukan stabilitas mulut sungai (dengan Tabel 1).

Untuk menghitung angkutan sedimen sepanjang pantai diperlukan data-data berupa: data gelombang berupa tinggi, arah dan distribusinya, serta peta bathimetri dan data dari studi refraksi dan gelombang pecah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Debit Banjir Rencana S Siak

3.1.1. Analisa Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan harian maksimum berasal dari 4 stasiun hujan di DPS Siak yaitu Pekanbaru, Pertapahan, Buatan dan Kandis (lihat Gambar 5) dan distribusi frekuensi hujannya dianalisa dengan agihan Log-Pearson type III, dapat dilihat di Tabel 3.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 26-02-2024 | Selesai Revisi : 25-03-2024 | Diterbitkan Online : 04-04-2024



Gambar 5. Lokasi 4 stasuin curah hujan di DPS Siak

Tabel 3. Perhitungan distribusi curah hujan dengan agihan Log-Pearson III

No.	Tahun	Hujan Asli	Hujan yang diurutkan, Ri (mm)	(LogRi - LogRr)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	2007	79,5	98,7	0,1494
2	2008	54	82,4	0,0710
3	2009	69	81,5	0,0662
4	2010	75	79,5	0,0554
5	2011	65	75,0	0,0301
6	2012	70,5	72,2	0,0136
7	2013	59	71,2	0,0075
8	2014	70	70,5	0,0032
9	2015	81,5	70,0	0,0001
10	2016	68,4	69,0	-0,0061
11	2017	71,2	68,4	-0,0099
12	2018	98,7	65,0	-0,0321
13	2019	82,4	62,5	-0,0491
14	2020	72,2	59,0	-0,0741
15	2021	62,5	54,0	-0,1126
16	2022	54	54,0	-0,1126
		Σ =	1132,9	0,0000

Berdasarkan parameter statistik data curah hujan Tabel 3 diperoleh rumus frekuensi Log-Pearson III: $LogX_T = 1,845 + G * 0,0685$. Nilai parameter pengali G ditentukan berdasarkan harga koefisien kemencengan Cs dan peluang kejadian P. Besarnya curah hujan rencana di DPS Siak pada berbagai kala ulang (*return period*) dapat dilihat pada Tabel 4.

3.1.2. Analisa Debit banjir rencana

Perhitungan debit banjir rencana di DPS Siak dalam penelitian ini menggunakan hidrograf satuan sintetik Nakayasu. Yang perlu diperhatikan perhitungan debit banjir rencana dengan metode hidrograf satuan adalah pola distribusi hujan jam-jaman, hujan efektif (*excess rainfall*) dan aliran dasar (*base flow*).

Tabel 3. Perhitungan distribusi .. (sambungan)

(LogRi - LogRr) ²	(LogRi - LogRr) ³	Pr emp (%) P=(m/(n+1)) *100	Tr	log Ri
(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0,0223	0,0033	5,882	17,00	1,994
0,0050	0,0004	11,765	8,50	1,916
0,0044	0,0003	17,647	5,67	1,911
0,0031	0,0002	23,529	4,25	1,900
0,0009	0,0000	29,412	3,40	1,875
0,0002	0,0000	35,294	2,83	1,859
0,0001	0,0000	41,176	2,43	1,852
0,0000	0,0000	47,059	2,13	1,848
0,0000	0,0000	52,941	1,89	1,845
0,0000	0,0000	58,824	1,70	1,839
0,0001	0,0000	64,706	1,55	1,835
0,0010	0,0000	70,588	1,42	1,813
0,0024	-0,0001	76,471	1,31	1,796
0,0055	-0,0004	82,353	1,21	1,771
0,0127	-0,0014	88,235	1,13	1,732
0,0127	-0,0014	94,118	1,06	1,732
0,0704	0,0008			

Parameter Hitungan :

Rata-rata,	70,81	Rata-rata Log(Ri)	1,845
St Dev, s	11,44	Stdev Log(Ri)	0,0685
Koef Cs	0,1817	Variasi Log(Ri)	0,0047
Koef Ck	0,1674		

Tabel 4. Besarnya curah hujan rencana di DPS Siak

Kala Ulang T (thn)	Prob, P (%)	G	log R	R _T (mm)
2	50	-0,030	1,843	69,65
5	20	0,831	1,902	79,78
10	10	1,299	1,934	85,89
25	4	1,812	1,969	93,12
50	2	2,149	1,992	98,22
100	1	2,459	2,013	103,13

Dalam mendistribusikan hujan harian menjadi hujan jam-jaman digunakan pendekatan dari rumus intensitas hujan dari Dr. Mononobe:

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \left(\frac{t}{T} \right)^{2/3} \quad (7)$$

dengan R_T adalah intensitas hujan pada durasi t jam (mm/jam; R₂₄ adalah curah hujan harian. (mm), T adalah durasi hujan (jam); t adalah durasi hujan rencana (mm), durasi hujan rencana ditentukan berdasarkan durasi hujan yang biasa terjadi di Indonesia yaitu t = 2-7 jam, sehingga pola distribusi hujan jam-jaman dan *excess rainfall* dapat dilihat pada Tabel.

Informasi Artikel

Tabel 5. Pola distribusi hujan jam-jaman dan hujan efektif (*excess rainfall*)

Durasi Hujan (jam)	Hujan R ₂ 69,6 (mm)	Hujan efektif R ₂ (mm)	Hujan R ₅ 79,8 (mm)	Hujan efektif R ₅ (mm)	Hujan R ₁₀ 85,9 (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	38,3	28,3	43,9	33,9	47,3
2	10,0	0,0	11,4	1,4	12,3
3	7,0	0,0	8,0	0,0	8,6
4	5,6	0,0	6,4	0,0	6,9
5	4,7	0,0	5,4	0,0	5,8
6	4,1	0,0	4,7	0,0	5,1

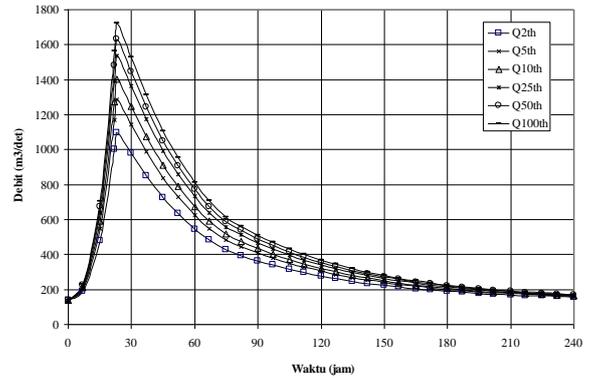
Tabel 5. Pola distribusi hujan .. (sambungan)

Hujan efektif R ₁₀ (mm)	Hujan R ₂₅ 93,1 (mm)	Hujan efektif R ₂₅ (mm)	Hujan R ₅₀ 98,2 (mm)	Hujan efektif R ₅₀ (mm)	Hujan R ₁₀₀ 103,1 (mm)	Hujan efektif R ₁₀₀ (mm)
(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
37,3	51,2	41,2	54,1	44,1	56,8	46,8
2,3	13,3	3,3	14,0	4,0	14,8	4,8
0,0	9,3	0,0	9,9	0,0	10,3	0,3
0,0	7,4	0,0	7,8	0,0	8,2	0,0
0,0	6,3	0,0	6,6	0,0	7,0	0,0
0,0	5,5	0,0	5,8	0,0	6,1	0,0

Hidrograf satuan sintetik yang dihasilkan di sungai Siak merupakan hidrograf debit banjir yang diasumsikan berlaku untuk kondisi debit di muara sungai Siak. Kondisi hidrograf debit ini merupakan hasil limpasan hujan efektif (*excess rainfall*) yang jatuh pada DPS Siak ditambah dengan aliran dasar (*base flow*). Hidrograf banjir rencana di Sungai Siak untuk berbagai kala ulang yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 6.

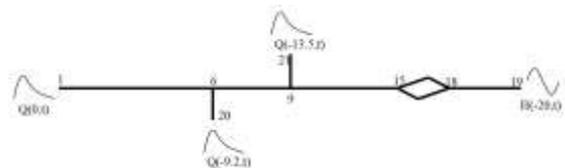
3.2. Analisa Hidraulika

Hitungan hidraulika untuk daerah sungai Siak dilakukan dengan 2 tujuan yaitu: (1) untuk mengetahui debit sungai sebagai fungsi waktu di muara sehingga didapatkan prisma pasang-surutnya, dan (2) menghitung profil muka air sepanjang sungai.



Gambar 6. Hidrograf Banjir di sungai Siak pada berbagai kala ulang

Dalam Gambar 7, titik1 sampai titik 19 adalah titik-titik hitungan untuk sungai utama (sungai Siak) sedang titik 20 dan 21 adalah titik hitungan untuk anak sungai Siak yaitu sungai Mandau dan sungai Sail. Titik 19 merupakan muara sungai Siak yang berhampiran langsung dengan laut (selat Malaka) sehingga kondisi batas hilirnya merupakan pasang surut. Titik 6 dan 9 adalah titik pertemuan anak-anak sungai sedang titik-titik 15 adalah percabangan sungai karena ada pulau (delta) dekat muara dan titik 18 adalah pertemuan sungai. Titik 1, 20 dan 21 berturut-turut adalah masukan hidrograf debit dari hulu sungai Siak, sungai Sail dan sungai Mandau merupakan kondisi batas hulu pada saluran yang dimodelkan.



Gambar 7. Skema jaringan titik hitungan hidraulik

3.2.1. Kondisi awal dan kondisi batas

Kondisi awal pada hitungan hidraulika ini ditentukan sembarangan dilakukan dalam tiga periode pasang surut sehingga didapatkan kondisi awal yang benar. Hal ini dilakukan

karena elevasi muka air dan debit sepanjang sungai sulit diperoleh.

Kondisi batas hulu untuk sungai Siak adalah debit dari DPS Siak, dan dari hulu sungai Sail dan sungai Mandau. Di ujung hilir sungai (muara) kondisi batas adalah elevasi muka air sebagai fungsi waktu yang diperoleh dari data pasang surut.

3.2.2. Kondisi awal dan kondisi batas

Kondisi awal pada hitungan hidraulika ini ditentukan sembarangan dan dilakukan dalam tiga periode pasang surut sehingga didapatkan kondisi awal yang benar. Hal ini dilakukan karena elevasi muka air dan debit sepanjang sungai sulit diperoleh.

Kondisi batas hulu untuk sungai Siak adalah debit dari DPS Siak, dan dari hulu sungai Sail dan sungai Mandau. Di ujung hilir sungai (muara) kondisi batas adalah elevasi muka air sebagai fungsi waktu yang diperoleh dari data pasang surut.

3.2.3. Running Model

Simulasi model hidraulik dilakukan dengan memasukkan parameter input: data geometrik dan kondisi batas/kondisi awal. Input geometrik meliputi data tampang sungai, kondisi kekasaran dasar, elevasi dasar, koefisien koriolis, faktor angin dan lainnya. Kondisi batas meliputi kondisi batas hulu berupa debit dan kondisi batas hilir berupa elevasi pasang surut. Running model dilakukan pada kondisi pasang susrut maksimum yaitu pada bulan Oktober dan dilakukan untuk 6 variasi kondisi kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

3.3. Kondisi Tampang di Muara Sungai Siak

3.3.1. Analisis Tampang Muara Sungai

Berdasarkan hasil hitungan prisma pasang surut di atas dapat ditentukan luas tampang minimum yang dibutuhkan muara sungai dengan menggunakan rumus (3) dan hasilnya diberikan dalam Tabel 6.

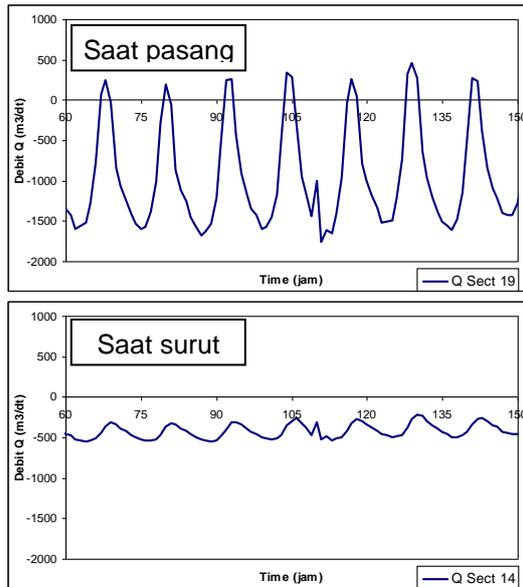
Tabel 6. Prisma pasang surut dan tampang aliran minimum di muara

Debit Kala Ulang	Prisma Pasut, P (x10 ³ m ³)	A _{min} (m ²)	S = P/M _T	Kondisi Muara
Q2th	47.736	3.115	388,04	C, rB
Q5th	50.220	3.269	408,23	K, rB
Q10th	51.084	3.322	415,25	K, rB
Q25th	52.704	3.423	428,42	K, rB
Q50th	53.784	3.489	437,20	K, rB
Q100th	56.484	3.655	459,15	K, rB
Pasang Perbani; A _{ada} = 3.225 m ² ; M _{tot} = 123.019 m ³				
C = Cukup ; K = Kurang ; rB = relatif baik				

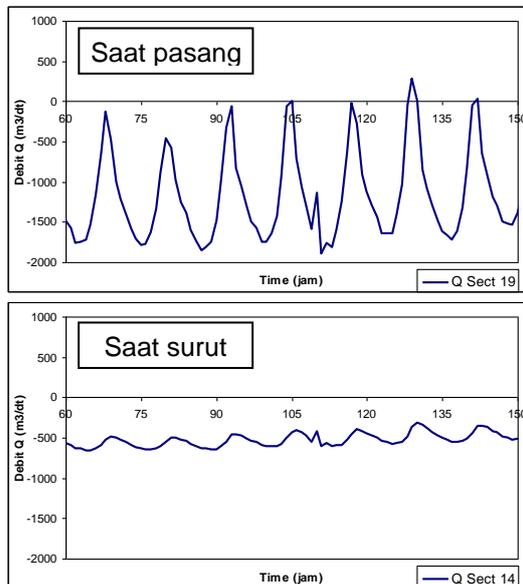
Untuk menentukan luas tampang minimum muara sungai Siak, sebagai contoh pada periode kala ulang 2 tahunan (Q2th). Prisma pasang surut dihitung berdasarkan Gambar 8 untuk Q2th. Gambar 9 digunakan untuk menghitung prisma pasang surut pada Q100th. Terlihat bahwa luas tampang minimum untuk Q2th yang disyaratkan untuk mulut sungai Siak masih lebih kecil dari kondisi tampang yang ada (A_{min} = 3.115 m² < A_{ada} = 3.225 m²). Hal ini menunjukkan bahwa luas tampang mulut sungai Siak yang ada saat ini dapat mengalirkan volume air akibat debit dan pasang surut pada periode ulang 2 tahunan. Untuk kondisi debit pada kala ulang yang lain (5, 10, 25, 50 dan 100 tahun), tampang sungai yang ada saat ini sudah tidak mampu mengalirkan debit tersebut. Artinya bila debit banjir melewati sungai maka yang mampu dilewatkan oleh muara sungai hanya sebesar kapasitas tampang yang ada (nilainya lebih kecil dari tampang minimum), sehingga kelebihan air

Informasi Artikel

yang tidak bisa dilewatkan akan kembali ke arah hulu sungai sebagai air balik (*black water*).



Gambar 8. Prisma Pasang Muara S Siak pada Q 2th



Gambar 9. Prisma Pasang Muara S Siak pada Q 100th

Air yang berbalik tersebut merupakan salah satu penyebab cepatnya naik elevasi muka air di hulu sungai. Salah satu antisipasinya adalah memperbesar tampang yang ada sekarang (eksisting) minimal sama dengan luasan tampang minimum muara sungai Siak sesuai dengan Tabel 6.

3.3.2. Analisa Stabilitas Muara Sungai

Angka stabilitas S di muara sungai ditentukan berdasarkan perbandingan antara Prisma pasut dan angkutan sedimen sepanjang pantai netto atau $S=P/M_{tot}$. Angkutan sepanjang pantai total merupakan gabungan angkutan sedimen yang ditimbulkan gelombang dari berbagai arah (barat laut, utara dan timur laut) serta untuk beberapa tinggi gelombang dan distribusinya.

Hitungan angkutan sepanjang pantai diprediksi berdasarkan data berikut :

- 1) data gelombang yang dipakai adalah data yang bersesuaian dengan kondisi simulasi running pasang surut pada model yaitu periode Sept-Okt-Nop, dimana arah gelombang dominan datang dari arah Tenggara dengan tinggi gelombang 0,3 – 1,0 meter; dalam simulasi diambil tinggi gelombang rata-rata sebesar 0,65 m. (dengan nilai $H_b = 0,65$ m dan $\alpha_b = 45^\circ$)
- 2) kecepatan rambat gelombang rata-rata berasal dari arah Selatan dengan kecepatan 2,0 knot atau 1,0 m/det. ($C_b = 1,0$ m/det)
- 3) Gaya angkutan sedimen, P_{lb} dihitung

$$= \frac{1.000}{8} 0,65^2 \cdot 1,0 \cdot \sin(45^\circ) \cdot \cos(45^\circ)$$

$$= 26,406 \text{ kg/det}$$

$$\text{Angkutan Sedimen Netto, } Q_s = 0,39 \cdot P_{lb}$$

$$= 0,39 \cdot 26,406 = 10,298 \text{ kg/det}$$

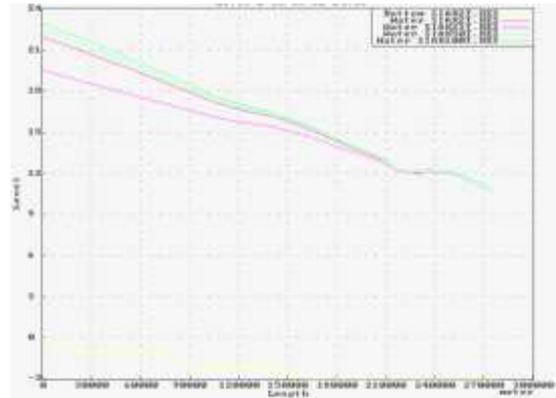
dengan mengambil 1 thn = 31.536.000 detik, maka: angkutan sediment netto sepanjang pantai = 123.019 m³/tahun. Dari analisa tersebut diperoleh angkutan sedimen sepanjang pantai total sekitar muara sungai Siak adalah $M_{tot} = \sum Q_s = 123.019$ m³/tahun. Berdasarkan nilai M_{tot} tersebut dan prisma

Informasi Artikel

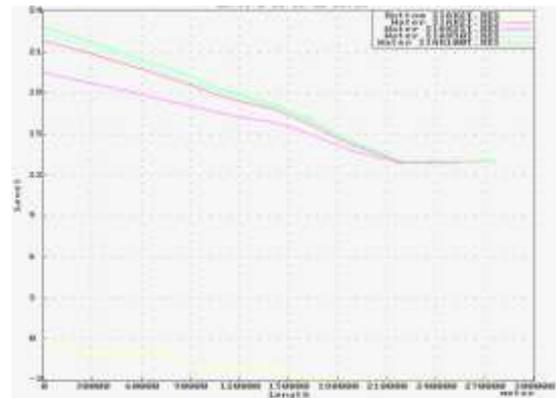
pasang surut, dapat diketahui stabilitas muara sungai yang hasilnya diberikan dalam Tabel 6.

Pada kondisi saat ini, kondisi muara sungai Siak relatif baik untuk semua kondisi kala ulang banjir. Nilai S yang didapat jauh lebih besar dari yang disyaratkan ($S > 150$), sehingga dapat disimpulkan kondisi muara sungai Siak masih relatif baik.

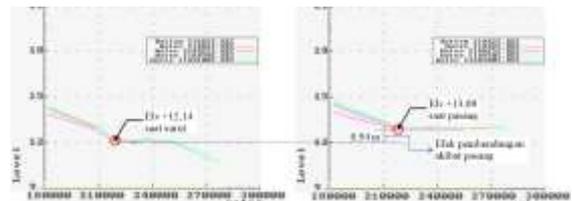
Dalam analisa hidraulika, dihitung juga elevasi muka air yang terjadi sepanjang sungai Siak akibat adanya debit dengan berbagai kala ulang dan kondisi pasang surut maksimum, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10a, 10b. Gambar 9a menunjukkan bahwa pada saat debit banjir besar dan di muara mengalami surut, profil elevasi muka air dari hilir ke hulu dalam kondisi normal, karena debit banjir yang terjadi tidak terhalang/tertahan pasang, tapi justru dibantu oleh kondisi surut sehingga mempercepat/ memperlancar keluarnya air dari mulut sungai. Sebaliknya, Gambar 9b, dimana kondisi debit banjir dari hulu besar dan kondisi hilir sungai mengalami pasang maksimum sehingga air yang menuju hilir akan tertahan oleh muka air yang naik atau air akan berbalik arah ke hulu (*back water effect*). Pada kondisi ini, terlihat pada bagian sungai di KM+220 (atau 60 km dari muara sungai) terjadi perubahan elevasi muka air yang cukup signifikan (0,94 m). Hal ini diakibatkan oleh adanya tahanan air akibat air pasang di muara sungai dan juga oleh adanya percabangan sungai (delta) sehingga kecepatan air di daerah ini melambat dan terjadi pembendungan (Gambar 10c).



Saat Surut (a)



Saat Pasang (b)



Perubahan elevasi muka air di KM +220 saat pasang (c)

Gambar 10. Profil Muka air di sepanjang sungai Siak saat Pasang Surut

4. Kesimpulan

- Hasil hitungan prisma pasang surut menunjukkan bahwa luas tampang mulut muara sungai Siak yang ada saat ini hanya dapat mengalirkan volume air akibat debit dan pasang surut pada periode ulang 2 tahunan ($A_{min} = 3.115 \text{ m}^2 < A_{ada} = 3.225 \text{ m}^2$), sedang untuk debit dengan kala ulang yang lain, kapasitas tampangnya tidak cukup dan kelebihan debit akan dialirkan ke hulu sungai sebagai *back water*.

Informasi Artikel

- b. Stabilitas mulut muara sungai Siak masih relatif baik dan stabil dengan angka kestabilan lebih dari 388,0 (syarat: $S > 150$).
- c. Mulai terjadinya *back water effect* di KM+220 (60 km dari muara sungai) menyebabkan perubahan elevasi muka air yang cukup signifikan (0,94 m) akibat adanya pembendungan aliran yang disebabkan adanya pengaruh air pasang dan simpul percabangan sungai (delta).

Research Center and Waterways Experimental Station,
Vicksburg, GITI Report No 3.

Daftar Rujukan

- [1] Ulwiya, A., Mudin, Y., and Rahman, A., 2019. Penentuan stabilitas muara sungai Batusuya berdasarkan parameter prisma pasang surut dan analisis sedimentasi, *J. Grafitasi*, 18 (1), pp. 47-56.
- [2] Triatmodjo, B., 2012. *Teknik Pantai*. 2nd ed, Yogyakarta: Beta Offset.
- [3] Triatmodjo, B., 2010. *Hidrologi Terapan*. 2nd ed, Yogyakarta: Beta Offset
- [4] Suprayogi, I., Fatnanta, F., and Bochari, 2011. Pengembangan model peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan softcomputing, *Laporan Akhir Penelitian Fundamental*, Pekanbaru: Universitas Riau
- [5] Novak, P., Moffat, AIB, and Nalluri, C., 1990. *Hydraulic Structures*, London: E & FN Spon.
- [6] Wahyudi, P., Bisri, M., and Sisinggih, D., 2015. Analisis Pengendalian Sedimentasi Muara Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang, *Jurnal Teknik Pengairan*, 6 (2), pp. 239-250.
- [7] Sujatmoko, B., Zafani, SSV., Fauzi, M., 2022. Mendeteksi kejadian banjir di sungai Tande Kab. Lingga dengan simulasi HEC-RAS. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*, 1 (1), pp. 28-36.
- [8] Istiarto, 2011. *Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS*. Modul Pelatihan. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM.
- [9] Anonim, 2008. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual*, US Army Corps of Engineers. Hydrology Handbook, ASCE. USA: Hydrologic Engineering Centre. ASCE.
- [10] Sujatmoko, B., 2016. Penanganan Banjir Pada Jaringan Drainase Menggunakan EPA SWMM (Studi Kasus : Perumahan Mutiara Witayu Pekanbaru). *Prosiding Konteks 10*. Yogyakarta, Indonesia 26-27 Oktober 2016, Universitas Atmajaya: Yogyakarta.
- [11] Tim PLTU, 2020. *Pengukuran Pasang Surut Sungai Siak Tahun 2020*. Pekanbaru: PLTU Tenayan.
- [12] Dishidros, 2021. *Informasi Pelabuhan Indonesia Tahun 2021*. Jakarta: Dishidros TNI-AL.
- [13] Jarrett, J.T., 1976. *Tidal prism-inlet area relationships*. US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 26-02-2024 | Selesai Revisi : 25-03-2024 | Diterbitkan Online : 04-04-2024
